

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-181355

(43)Date of publication of application : 11.07.1997

(51)Int.Cl.

H01L 33/00  
H01L 21/205

(21)Application number : 07-336473

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO  
LTD

(22)Date of filing : 25.12.1995

(72)Inventor : KITAHATA MAKOTO  
BAN YUZABURO  
ISHIBASHI AKIHIKO

## (54) CRYSTAL GROWTH METHOD AND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To grow an excellent GaN crystal layer almost free from defects on an SiC substrate.

SOLUTION: A GaN layer is grown on the surface of a hydrogen-terminated 6H-SiC (0001) substrate. First, the surface of the 6H-SiC (0001) substrate 10 is terminated with hydrogen. The substrate is set in an MOCVD device and kept at a temperature of 1000° C, and trimethyl gallium and ammonia are fed into the MOCVD device together with hydrogen carrier gas. By this method, a hetero-epitaxially growth of GaN single crystal thin film 11 is attained on the surface 12 of the SiC substrate 10.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 08.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3508356

[Date of registration] 09.01.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's]

BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-181355

(43) 公開日 平成9年(1997)7月11日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 33/00

21/205

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

21/205

技術表示箇所

C

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-336473

(22) 出願日 平成7年(1995)12月25日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 北畠 真

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 伴 雄三郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 石橋 明彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

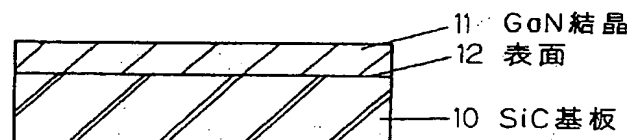
(74) 代理人 弁理士 滝本 智之 (外1名)

(54) 【発明の名称】 結晶成長方法および半導体発光装置

(57) 【要約】

【課題】 SiC基板上に、欠陥の少ない良質のGaN結晶を成長させる。

【解決手段】 水素ターミネイト6H-SiC(0001)基板表面に、GaN層を成長させる。まず、6H-SiC(0001)基板10の表面を水素によりターミネイトする。この基板をMOCVD装置内にセットし、基板温度を1000℃に保持し、水素キャリアガスと共にトリメチルガリウムおよびアンモニアを供給する。この方法により、SiC基板表面12にGaN単結晶薄膜11がヘテロエピタキシャル成長する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 水素ターミネイトしたSiC結晶と、  
前記結晶上に形成したGa<sub>2</sub>N層とを備えた半導体発光装置。

【請求項2】 シリコン基板と、  
前記基板上に形成したSiC結晶と、  
前記SiC結晶上に形成したGa<sub>2</sub>N層を備え、  
前記SiCの表面が水素によりターミネイトされている  
半導体発光装置。

【請求項3】 Ga<sub>2</sub>N層に替えてAl<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N ( $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )  
層を用いた請求項2に記載の半導体発光装置。

【請求項4】 シリコン基板として、オフ基板を用いる請  
求項2または3に記載の半導体発光装置。

【請求項5】 シリコン基板に替えて、ダイヤモンド基板  
を用いる請求項2に記載の半導体発光装置。

【請求項6】 シリコン基板と、  
前記基板上に形成した第1のSiC結晶と、  
前記SiC結晶上に形成したSi結晶と、  
前記Si結晶上に形成した第2のSiC結晶と、  
前記SiC結晶上に形成したGa<sub>2</sub>N層を備え、  
前記第2のSiCの表面が水素によりターミネイトされ  
ており、

かつ、前記第1および第2のSiCの結晶方位が異なる  
半導体発光装置。

【請求項7】 SiC結晶のC面を用いる請求項1～6の  
いずれかに記載の半導体発光装置。

【請求項8】 水素ターミネイトしたSiC結晶を用いる  
結晶成長方法。

【請求項9】 SiC結晶表面を水素によりターミネイト  
する工程と、  
前記結晶表面にGa<sub>2</sub>N結晶を成長する工程とを有する結  
晶成長方法。

【請求項10】 Ga<sub>2</sub>N結晶に替えてAl<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N  
( $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )  
結晶を成長する請求項9に記載の結晶成長方法。

【請求項11】 水素ターミネイトがダングリングボンド  
の30以上100パーセント未満である請求項8、9また  
は10に記載の結晶成長方法。

【請求項12】 水素ターミネイトしたSiC結晶上に、  
Gaの膜を薄く成長させる工程と、  
前記Gaを窒化させ、Ga<sub>2</sub>N薄膜を形成する工程と、  
前記Ga<sub>2</sub>N薄膜上に、600度以上900度以下の低温  
でGa<sub>2</sub>N層を形成させる工程と、  
前記非晶質Ga<sub>2</sub>N層を900度以上に加熱し良結晶化さ  
せる工程とを有する結晶成長方法。

【請求項13】 Si(001)基板の清浄表面に、3C-SiC(001)  
をエピタキシャル成長させる工程と、  
前記3C-SiC(001)上に、Siをエピタキシャル成長させ  
る工程と、

前記Si表面に3C-SiC(111)SiCをエピタキシャル成  
長させる工程とを有する結晶成長方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は半導体装置、特に、  
シリコンカーバイド上に化合物半導体層を結晶成長させ  
る方法および半導体発光デバイスに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 シリコン基板上に、シリコンカーバイド  
(以下、SiCと記す。)をエピタキシャル成長させる  
ことは既に報告されている。参考文献としては、松波ら  
による、IEEE Trans. Electron Devices ED-28, 1235(198  
1)がある。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、SiC結晶  
上に、SiCとは格子定数の異なるGa<sub>2</sub>N等の化合物半  
導体を成長させる結晶成長方法およびその化合物半導体  
層を用いた半導体発光装置を提供することを目的とす  
る。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するた  
めに、本発明では、水素ターミネイトしたSiC結晶と、  
前記結晶上に形成したGa<sub>2</sub>N層とを備えた半導体発光装  
置とし、SiC結晶はシリコン基板やダイヤモンド基板  
上に形成してもよい。

【0005】 またSiC結晶上に成長させる半導体層  
は、一般にAl<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>In<sub>z</sub>N ( $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ )  
で表される半導体層  
を用いてもよい。

【0006】 結晶成長方法としても、水素ターミネイト  
したSiC結晶を用いるものである。SiC上にGa<sub>2</sub>N  
層を形成する方法として、水素ターミネイトしたSiC  
結晶上に、Gaの膜を薄く成長させ、そのGaを窒化さ  
せ、Ga<sub>2</sub>N薄膜を形成し、そのGa<sub>2</sub>N薄膜上に、低温で  
Ga<sub>2</sub>N層を形成させて、その後昇温し良結晶化させる  
方法もある。

【0007】 また、Si(001)基板の清浄表面に、3C-SiC  
(001)をエピタキシャル成長させる工程と、前記3C-SiC  
(001)上に、Siをエピタキシャル成長させる工程と、  
前記Si表面に3C-SiC(111)SiCをエピタキシャル成  
長させる工程により、第1層目のSiCと、第2層目の  
SiCとの面方位を異なったものとすることができる。

## 【0008】

【発明の実施の形態】 本発明者らは、6H, 4H, 3C等のSiC  
基板表面から、酸化膜や不純物を取り除き清浄化し、表  
面原子のダングリングボンドを、水素によりターミネイ  
トし、安定化された表面を形成することにより、SiC基  
板がSiC以外の、例えばGa<sub>2</sub>Nのような物質の単結晶をヘ  
テロエピタキシャル成長させるための基板として有効に  
機能することを確認した。以下、具体的にその方法につ

いて説明する。

【0009】(実施の形態1)図1のように、研磨処理され平滑化された6Hまたは4H、3C、15R等の単結晶SiC基板1の表面2を、アセトン、アルコール、トリクロエン等の有機溶剤で洗浄し、有機物質を取り除く。更にフッ酸溶液にひたすことにより洗浄し、酸化物を取り除く。この場合、一度表面を酸化して酸化膜を形成し、この酸化膜を除去することにより表面の欠陥の少ない基板を形成することが出来る。

【0010】この洗浄SiC基板を真空装置内に導入し、水素ガスを真空槽内に、 $1 \times 10^{-6}$ Torr以上の圧力に達するまで導入し、水素雰囲気中でSiC基板1を加熱した。

【0011】800℃以上の温度まで加熱されたSiC基板1表面は、水素と反応し若干エッチされ、さらに清浄な表面が形成される。この場合、水素はガスを導入するだけでも良いが、2000℃以上に熱せられたフィラメントによってクラッキングされた原子状水素を供給すると、より低いガス圧の $1 \times 10^{-7}$ Torrでも、より低い基板温度600℃の条件でも清浄表面の形成が可能であった。

【0012】このようにして形成された清浄SiC基板表面1には、酸化物や不純物などのSiC以外の物質は存在せず、SiC表面原子のダングリングボンドは、水素によりターミネイトされて安定化されていた。

【0013】特に基板1の表面が3C-SiC(111)面又は6H、4H-SiC(0001)面に対応する炭素面の場合に、図2の様に、表面が炭素面の炭素3のダングリングボンド4が水素5でターミネイトされて安定化されて、平滑・清浄な表面が得られた。

【0014】炭素と水素の結合は、1100℃程度の温度以上で分解し始めるため、この温度以下では安定である。したがって、1000℃程度にまで温度を上げる必要のある結晶成長には炭素のダングリングボンドを用いる方がよい。つまりSiC基板の炭素面の方をもちいるのがよい。

【0015】一方、Siと水素の結合は、600℃程度の温度以上で分解し水素が表面から離脱し安定化が保持されない。このため、上記800℃の温度においては、表面がSi面の場合は、Siが水素と反応して盛んにエッチされ、安定な表面が得にくい。よって800℃の温度でSiC基板上に結晶成長させる場合にはSi面は使用しないほうがよい。これに対し、炭素面においては、1000℃程度でも安定な炭素水素結合が保持され、表面が安定化される。

【0016】図3の様に、基板1と薄膜が異なる物質で、ヘテロエピタキシャル成長により単結晶薄膜6を成長させる場合、格子の整合が不十分でラティスマッチが大きいと、通常の基板1と薄膜6の界面7での強い相互作用を有するヘテロエピタキシャル界面において多くのミスフィット転位8が形成されて、良好な単結晶薄

膜を得ることが出来ない。

【0017】本実施の形態のように、水素によってターミネイトされたSiC基板表面を利用して薄膜を形成する場合は、基板と薄膜の界面7における相互作用は、水素を介して作用するため、直接の結合ではなく、ファンデルワールス力のような弱い相互作用になると考えられる。この弱い相互作用が界面7で発生するミスフィット転位の密度を低く保ち、ヘテロエピタキシャル成長を高性能化すると考えられる。

10 【0018】水素によるターミネイトとは、SiC基板表面から出ているダングリングボンドに水素を結合させることをいう。そしてここではダングリングボンドのすべてを水素により完全に結合させてしまわなくてもよい。たとえば、表面のダングリングボンドに対して、水素を30パーセント程度を結合させるだけでも効果があることが実験的に確かめられた。

20 【0019】成長させる薄膜に一致する基板が存在しない場合や、図4の様にバッファ層9を基板1とヘテロエピタキシャル薄膜6の界面に形成することが必要であるといわれている場合は、本発明の水素ターミネイト基板表面が有効に働いた。

【0020】本実施例ではSiCとして、3C-SiC(111)面、 $\alpha$ -SiC(0001)面について述べたが、他の面、例えば3C-SiC(001)面、又は $\alpha$ -SiC(1210)面等でも有効である。

【0021】(実施の形態2)実施の形態1で説明した水素ターミネイトSiC基板上に、GaN結晶を成長させる方法について図5を用いて説明する。

30 【0022】基板は、水素ターミネイト6H-SiC(0001)とし、この基板表面に、GaNを成長させる。まず、MOCVD装置成長室内に、実施の形態1の水素ターミネイト6H-SiC(0001)基板10を設置する。基板温度を1000℃に保持し、水素キャリアガスと共にトリメチルガリウム(TMg)およびアンモニアを供給する。

【0023】この方法により、低温下において膜成長を行うバッファ層の形成は行わなかったが、6H-SiC(0001)表面12にGaN単結晶薄膜11がヘテロエピタキシャル成長した。

40 【0024】6H-SiC(0001)表面の結晶の終端面12が炭素面を用いた。炭素と炭素をターミネイトしている水素との結合は強いため、1000℃の基板温度での水素雰囲気下のGaN膜形成の条件下では、6H-SiC(0001)表面をターミネイトしている水素は保持され、GaNとの界面12を形成した。GaN(0001)面が、基板の6H-SiC(0001)面上に成長しヘテロエピタキシャル成長薄膜が得られた。GaN結晶11と水素ターミネイトSiC結晶10は接しており、GaNヘテロエピタキシャル薄膜11の欠陥密度は $10^9 \text{ cm}^{-2}$ 以下であった。このようにSiC基板の6H-SiC(0001)水素ターミネイト表面12により、SiCと、ヘテロエピタキシャルGaN結晶との界面エネルギーが緩和され

て、界面におけるヘテロエピタキシャルGaN結晶の転移の発生が抑制された。

【0025】GaNは基板表面との弱い相互作用によりその方向が決定されるが、結晶の表面は物質自身の有する表面エネルギーによって決定される。このため、基板の6H-SiC(0001)とヘテロエピタキシャルGaN(0001)は原子レベルで接しているが、異なる結晶が接する場合の界面エネルギーは低く保たれている。界面における結晶の乱れの抑制は、欠陥密度の小さいヘテロエピタキシャル成長を可能とする。

【0026】界面にバッファ層を形成するヘテロエピタキシャル成長の場合は、バッファ層がこの界面エネルギーの低減を行う。本発明においては、このバッファ層の効果を、原子層である水素ターミネイト表面によって実現したもので、バッファ層の形成よりも、制御性・再現性・界面の清浄性に優れており、より低欠陥の高性能のヘテロエピタキシャル成長単結晶薄膜の成長を実現できた。

【0027】GaN発光素子などのデバイスを形成するためには、基板のSiCはn型が好ましい。SiCのn型化は例えばN(窒素)をドーピングすることにより達成される。ここではGaNの成長について説明したが、 $Al_xGa_yIn_zN$  ( $x+y+z=1$ ) 結晶でも、同様の成長ができる。

【0028】本実施例では6H-SiC(0001)面について述べたがこの面と同等の3C-SiC(111)面、4H等も含む $\alpha$ -SiCの(0001)面についても有効で、更に他の面例えば3C-SiC(001)面、又は $\alpha$ -SiC(1210)面等でも有効であった。

【0029】ここでのSiC基板表面のCダングリングボンドへの水素は約40パーセントである。30以上から100パーセント未満であればこのうえに結晶成長するGaNは結晶欠陥の少ないものとなる。これは、1パーセント以下のほんの少しのCのダングリングボンドでも存在すればGaNがSiCの表面のC(炭素)ダングリングボンドと結合し、基板との結合を保って結晶成長できるためである。また、30パーセントより小さいと、水素でターミネイトしているダングリングボンドが少なく、ほとんどのCにGaNが結合するのでSiC上のGaN結晶に転移が入ることになるからである。本実施の形態では、水素の割合を30以上100パーセント未満としている。この水素ターミネイトの値は、GaN成長前のSiC基板の表面である。GaN成長中に基板温度や成長雰囲気を変えることにより、すでに形成されているGaN/SiC界面に存在するターミネイト水素比率が減少する場合がある。例えば、成長途中でGaN成長温度を1200度と変化させると、ターミネイト水素比率は殆どゼロに減少する。また、GaN成長後に昇温してもGaN/SiC界面のターミネイト水素比率は減少する。

【0030】(実施の形態3) Si上に、SiCを成長させ、その上に、GaNを成長させる方法について説明

する。

【0031】図6のように、 $1 \times 10^{-8}$ Torr以上の高真空中で900℃以上まで昇温し、清浄化されたSi(001)(2x1)基板13表面に、バックグランド圧力を $1 \times 10^{-7}$ Torr以下に保って、炭化水素等のガス状の炭素のSi基板表面への寄与を抑え、例えば電子線蒸着器を用いて黒鉛に8kV、100mA程度の電子線を照射することにより分子状の炭素を昇華させてSi基板表面へ供給することにより、SiC/Si界面14が原子レベルで接している急峻な界面であるヘテロエピタキシャル炭化珪素薄膜15を形成した。

【0032】この場合、分子状の炭素のSi表面14への供給は、基板温度が400℃以下の状態から始められ、Si基板13は炭素の供給を続けたまま徐々に昇温されて900℃以上まで加熱された。ガス状の炭素は基板表面に存在するステップエッジや結晶欠陥などの反応サイトから反応し、結晶方位の異なる双晶などを多く含む問題があった。

【0033】一方、分子状の炭素の供給による上述のSi基板表面13の炭化处理によって形成されたヘテロエピタキシャル炭化珪素15は、SiC/Si界面が原子レベルで接している急峻な界面を有しており、結晶方位の異なる双晶などを殆ど含まないことを確認した。

【0034】上記炭化处理に続いてSiを1357℃程度に保たれたクヌーセンセルから供給して、基板温度1050℃でSiC薄膜を成長させるとヘテロエピタキシャル単結晶SiC薄膜が得られた。ヘテロエピタキシャルSiC薄膜の膜厚を100Å以上とすることにより、良好な単相の単結晶薄膜が得られた。

【0035】このヘテロエピタキシャル単結晶SiC薄膜の表面を利用すると、炭化珪素基板として実施の形態1、2のごとく機能する。つまり、SiC薄膜の表面を水素によりターミネイトし、その上に欠陥の少ないGaN結晶を成長させることができる。この場合は、もともとの基板として、Siウェハを使用することができ、SiC単結晶をカット・研磨した基板を用いる場合に比べて、非常に安価になる。

【0036】さらに、レーザーなどを形成する場合に必要な劈開技術についても、基板のSiの劈開を利用して、Si基板上に形成されたGaN薄膜を劈開させることにより、効率的に行うことができる。

【0037】この実施の形態の様に、SiCの形成のために分子状の炭素源を用いた場合は、100Å程度の薄い膜厚でも良好な結晶性を達成できた。つまり、炭素源としては分子状が好ましい。

【0038】ここで、使用するSi基板は(001)、(111)どちらの面でも有効であったが、0.05度から10度程度傾けてカットしたoff-cut基板を用いると単相の単結晶を成長させるために有効であった。

【0039】GaN発光素子などのデバイスを形成するためには、基板のSiはn型の方が良く、更にその表面に形

成されるSiCハタロエビタキシャル薄膜もn型が好ましい。SiCのn型化は例えばN(窒素)をドーピングすることにより達成される。

【0040】(実施の形態4) Si基板上にSiCヘテロエビタキシャル薄膜を成長させた炭化珪素基板について、劈開を考慮してSiCの結晶方位を制御する方法について実施の形態4として説明する。

【0041】図7の様に、Si(001)基板13の清浄(2x1)表面14に、実施の形態3のごとく、3C-SiC(001)面15をヘテロエビタキシャル成長させた。

【0042】3C-SiC(001)表面16に、今度は、Si17をヘテロエビタキシャル成長させ、更に、その表面18にSiC19を再びヘテロエビタキシャル成長させた。すると、二度目の3C-SiCヘテロエビタキシャル薄膜19の結晶方位は、3C-SiC(111)面となった。

【0043】さらにこのSiC19の上に、Ga<sub>2</sub>N結晶21を成長する。成長温度は約1100℃である。SiC19の表面は水素ターミネイトされたC面となっている。

【0044】この2重のヘテロエビタキシャル成長SiC薄膜は、実施の形態1、2および3で述べた炭化珪素基板として有効に機能する。

【0045】Si(001)面は互いに直行するSi[110]劈開方向を有する。よって、この劈開を3C-SiC(111)面のヘテロエビタキシャル薄膜、更にその表面20に成長させる例えばGa<sub>2</sub>N(0001)面21の3C-SiC(111)面に対応する他の材料のヘテロエビタキシャル薄膜についても利用することができ有効である。

【0046】(実施の形態5) 実施の形態1で説明した水素ターミネイトされたSiC表面へのGa<sub>2</sub>Nのヘテロエビタキシャル成長をさせる場合に有効な、Ga<sub>2</sub>Nの2ステップ成長について説明する。

【0047】まず図8の(a)の様に水素ターミネイトされた表面12を有する基板10をGa<sub>2</sub>N成長室内に導入し、700℃に加熱しトリメチルガリウム(TM<sub>2</sub>G)を供給する。原子層程度の薄いGa薄膜22を水素ターミネイトしたSiC表面に形成する。SiC基板はC面となっている。

【0048】この時、窒素は供給せず、ガリウムのみの供給とする。この後、アンモニアを供給し、ガリウムを窒化し、(b)の様にGa<sub>2</sub>N薄膜23に変化させる。

【0049】さらにトリメチルガリウムとアンモニアの供給を続け、(c)に示すように、Ga<sub>2</sub>N薄膜24を1000Å程度の膜厚まで成長させる。この時形成されるGa<sub>2</sub>N薄膜24が非晶質構造をとっていると有効であることも確認した。

【0050】次に、基板温度を1000℃に上昇させ、さらにGa<sub>2</sub>N薄膜の成長を続ける。基板温度の上昇途中で、Ga<sub>2</sub>N薄膜の結晶性が向上し非晶質成分も結晶化し(d)の様に良好なヘテロエビタキシャル単結晶Ga<sub>2</sub>N層25

が得られる。基板温度1000℃で成長するGa<sub>2</sub>N薄膜は成長に伴って結晶性が更に向上し、非常に良好なヘテロエビタキシャルGa<sub>2</sub>N薄膜が成長した。

【0051】本実施の形態の2ステップ成長は、単結晶のSiC基板を用いた場合でも、Si基板上にヘテロエビタキシャル成長したSiCを用いた場合でも有効である。3C-SiC(001)面、3C-SiC(111)面、α-SiC(0001)面、更には他の結晶面に於いても有効である。

【0052】(実施の形態6) 次に基板としてダイヤモンドを用いた場合について説明する。

【0053】図9のようにダイヤモンド単結晶基板26を用いて、その表面27にSiC単結晶28をヘテロエビタキシャル成長させて、このSiC表面29を水素ターミネイトし基板とした。

【0054】ダイヤモンド上のSiCのヘテロエビタキシャル成長は、基板を1050℃に加熱し、SiとCを基板表面に供給することにより達成できる。この場合のヘテロエビタキシャルSiC薄膜の成長条件は実施の形態3の条件と同様であったが、炭化処理は必要としなかった。

【0055】このダイヤモンド表面に形成されたSiC薄膜表面に、例えばGa<sub>2</sub>N薄膜30を実施の形態2または5のようにヘテロエビタキシャル成長させた。このダイヤモンド表面のヘテロエビタキシャル薄膜は、劈開が可能であり、更にダイヤモンドの熱伝導率がSiに比べて一桁以上高いために、ハイパワー動作に適している。これは、ハイパワー動作に伴う発熱をダイヤモンド基板が効率的に逃がすことが出来るためである。また、ダイヤモンド単結晶基板がダイヤモンドの多結晶の基板でも有効であることを確認した。

【0056】さらに、図10のように、Si基板31上に形成されたダイヤモンド薄膜32、又はダイヤモンド基板上にヘテロエビタキシャル成長させたダイヤモンド薄膜を用いても有効である。

【0057】Si基板上へのヘテロエビタキシャル成長は、Si基板31上に先にSiC薄膜33を形成しその表面にダイヤモンド薄膜32を成長させた場合に良好なヘテロエビタキシャル薄膜が得られた。この場合のSiCのSi基板上へのヘテロエビタキシャル成長は実施の形態3で述べた方法を用いた。

【0058】ダイヤモンドの成長は、マイクロ波CVDプラズマ製膜装置を用い、COを例えば10%含んだ水素ガスを4000Pa程度の圧力で110sccm流しマイクロ波パワー300Wで成膜した。この場合の基板温度は850℃程度で一時間の成膜で1ミクロンの膜厚のダイヤモンド薄膜が形成された。

【0059】(実施の形態7) 実施の形態6で述べた図11のダイヤモンド基板表面34の炭素ダングリングボンドを水素によりターミネイトすることにより、実施の形態6で述べたようなSiCの表面への成長を必要としないダイヤモンド単体でも、例えばGa<sub>2</sub>N薄膜35のエビタ

キシャル基板として有効に機能することを確認した。

【0060】つまり、ダイヤモンド単結晶基板、または他の基板（例えばSi基板など）の表面に形成されたダイヤモンド薄膜の表面を、水素プラズマにさらすことにより表面を水素化して本発明の基板として使用できる。

【0061】水素プラズマは、例えば実施の形態6で述べたダイヤモンド薄膜形成装置に於いて、CO等の炭素源を供給せずに水素のみを供給して同様の条件で発生させ、そのプラズマ中に基板をさらすことにより水素ターミネイト基板が形成される。この水素ターミネイト表面34に例えばGaN35が上記実施の形態のように有効にヘテロエピタキシャル成長した。

【0062】（実施の形態8）上記実施の形態を用いて半導体発光素子を製造した実施の形態について説明する。

【0063】まず、n型SiC（6H-SiC(0001)）基板を洗浄したのち、真空装置内にセットし、水素ガスを真空槽内に、 $1 \times 10^{-6}$  Torr以上の圧力に達するまで導入し、水素雰囲気中でn型SiC基板を加熱した。800℃以上の温度まで加熱されたSiC基板表面は、水素と反応し若干エッチされ、さらに清浄な表面が形成される。このようにして形成された清浄なn型SiC基板表面には、酸化物や不純物などのSiC以外の物質は存在せず、SiC表面原子のダングリングボンドは、水素によりターミネイトされて安定化されていた。

【0064】次に、このn型SiC基板温度を1000℃に保持し、水素キャリアガスと共にトリメチルガリウム（TMG）およびアンモニアを供給することにより、GaN単結晶薄膜11をエピタキシャル成長させる。ドーパントとしては、n型はSi、p型はMgを用いた。つまり、GaN結晶の成長時にドーパントとしてSiを導入することでn型GaNとし、引き続きMgを導入することでp型GaNとした。最後にp型GaN上にはp型電極を、n型SiC基板にはn型電極を形成した。このようにして、n型SiC基板上に形成したGaN結晶を用いた発光素子を製造することができた。

【0065】

【発明の効果】本発明により、GaN等のヘテロエピタキシャル成長用の有効なSiC結晶およびSuC基板が提供できる。つまり、従来バッファ層等を成長させ、格子ミスマッチを緩和させてヘテロエピタキシャル成長させていたのを、SiC結晶またはSiC基板表面のダングリングボンドを水素ターミネイトすることにより、結晶または基板表面とヘテロエピタキシャル成長単結晶薄膜との界面エネルギーを低く保ち、直接エピタキシャル成長可能とした。よって従来のバッファ層は必要とせず欠陥密度の低いヘテロエピタキシャル成長を可能とする結晶または基板として機能する。

【0066】この場合、結晶または基板表面は、炭素のダングリングボンドとそれをターミネイトしている水素

のよって構成されているのが最も好ましい。これは炭素水素の結合が安定なためで、SiCやダイヤモンドの水素ターミネイト表面がこれに当たる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態を示すSiC基板の断面図

【図2】基板表面の原子構造を示す図

【図3】基板表面に形成されたヘテロエピタキシャル単結晶薄膜を示す断面図

【図4】従来のバッファ相を必要とするヘテロエピタキシャル成長薄膜を示す断面図

【図5】実施の形態2に係るヘテロエピタキシャル成長薄膜を示す断面図

【図6】実施の形態3に係るSiC/Si基板を示す断面図

【図7】実施の形態4に係る層状構造を有する炭化珪素基板を示す断面図

【図8】実施の形態5に係る2ステップ成長のプロセス図

【図9】実施の形態6に係るダイヤモンドを含む基板を示す断面図

【図10】実施の形態6に係るダイヤモンド/Si基板を示す断面図

【図11】実施の形態7に係るダイヤモンド表面へのヘテロエピタキシャル成長薄膜を示す断面図

【符号の説明】

- 1 基板
- 2 基板表面
- 3 炭素表面原子
- 4 ダングリングボンド
- 5 水素
- 6 薄膜
- 7 界面
- 8 ミスフィット転移
- 9 バッファ層
- 10 SiC基板
- 11 GaN単結晶薄膜
- 12 SiC炭素終端面
- 13 Si基板
- 14 SiC/Si界面
- 15 SiC薄膜
- 16 SiC薄膜表面
- 17 Si薄膜
- 18 Si薄膜表面
- 19 2層目のSiC薄膜
- 20 2層目のSiC薄膜表面
- 21 GaN薄膜
- 22 Ga薄膜
- 23 GaN初期薄膜
- 24 低温成長GaN薄膜
- 25 高温成長GaN薄膜
- 26 ダイヤモンド基板



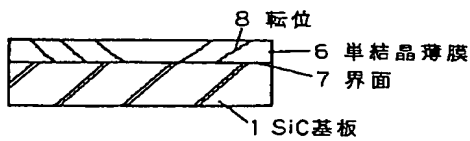
11

- 27 ダイヤモンド表面
- 28 SiC薄膜
- 29 SiC薄膜表面
- 30 GaN薄膜
- 31 Si基板

【図1】



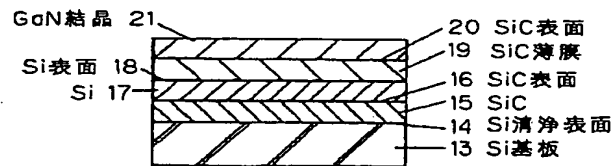
【図3】



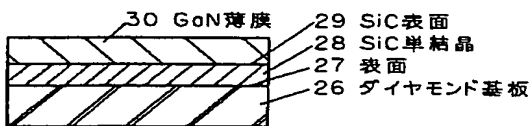
【図5】



【図7】



【図9】



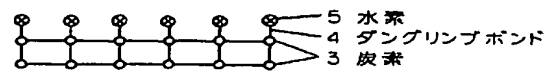
【図10】



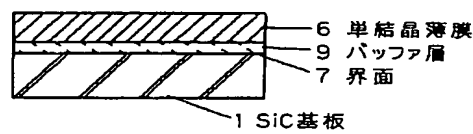
12

- 32 ダイヤモンド薄膜
- 33 SiC薄膜
- 34 ダイヤモンド基板表面
- 35 ヘテロエピタキシャル成長薄膜

【図2】



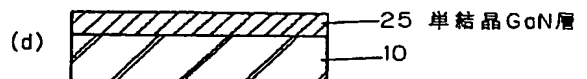
【図4】



【図6】



【図8】



【図11】

